

油脂生产原理与应用技术丛书

油 脂 化 学

陈 洁 主编

金华丽 李建伟 副主编

化 学 工 业 出 版 社

• 北 京 •

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

油脂化学/陈洁主编. —北京: 化学工业出版社, 2004
(油脂生产原理与应用技术丛书)
ISBN 7-5025-5100-X

I. 油… II. 陈… III. 油脂化学 IV. TQ641

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 001702 号

油脂生产原理与应用技术丛书

油 脂 化 学

陈 洁 主 编

金华丽 李建伟 副主编

责任编辑: 杨立新

文字编辑: 冯国庆

责任校对: 陈 静 宋 玮

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷厂印刷

北京市彩桥印刷厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 8 $\frac{3}{4}$ 字数 227 千字

2004 年 2 月第 1 版 2004 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5100-X/TQ·1896

定 价: 19.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

京工商广临字 2003—31 号

前 言

油脂作为重要的营养物质之一，是人类生命能源和机体代谢不可缺少的必要物质，同时也是食品、化工、医药等工业的重要原料，在国民经济建设中占有举足轻重的地位。油脂化学作为一门系统科学，与生命科学有机地结合在一起，已经渗透到了医药、化工、农业、环境等众多领域中。随着经济的快速发展，油脂需求量的不断增加，对油脂品质、安全性、营养性的要求也愈来愈高，同时也给油脂研究领域提出了新的挑战，因此加强对油脂理论和油脂加工业的精深研究显得更为重要。

本书共分九章，系统阐述了油脂的基本性质、基础理论、基础分析和油脂应用及分类综述等内容，并介绍了一些目前的最新科研成果及发展动态，可供从事油脂专业学习的学生及油脂、食品加工、化工以及相关领域的科研、生产人员学习和参考。该书第一、二、三、四章由金华丽编写，第五、六章由陈洁编写，第七、八、九章由李建伟编写，全书由陆启玉主审。

在本书编写过程中，得到了郑州工程学院粮油食品学院多位教师的支持和帮助，在此表示感谢，由于编者水平有限，错误在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2003. 9. 20

目 录

第一章 天然脂肪酸	1
第一节 天然脂肪酸	1
一、天然脂肪酸的类型	1
二、脂肪酸的命名	2
第二节 饱和脂肪酸与不饱和脂肪酸	3
一、饱和脂肪酸	3
二、不饱和脂肪酸	5
第三节 取代酸	12
一、甲基取代酸	12
二、环取代酸	12
三、氧化酸（含氧酸）	14
四、炔酸	15
第二章 天然油脂的甘三酯组成和结构	17
第一节 概述	17
一、甘油酯命名及表示法	18
二、油脂甘油三酯组成的复杂性	19
第二节 甘油三酯中脂肪酸分布学说	22
一、分布学说	22
二、天然油脂的甘三酯中脂肪酸的分布	26
第三章 脂肪酸和油脂的物理性质	28
第一节 同质多晶现象	28
一、长碳链脂肪酸晶体结构	28
二、长碳链脂肪酸的同质多晶体	29
三、甘三酯的同质多晶体	30
四、甘三酯的晶体结构	32
五、甘三酯同质多晶现象应用举例	32
第二节 熔点、密度和黏度	33

一、熔点	33
二、密度	35
三、黏度	35
第三节 塑性脂肪的膨胀特性	36
一、塑性脂肪与膨胀特性	36
二、塑性脂肪塑性的测定	37
第四节 溶解度	39
一、脂肪酸和油脂与水的互溶性	40
二、脂肪酸和油脂在有机溶剂中的溶解度	40
第五节 光学性质	41
一、折射率	41
二、紫外吸收光谱	41
三、红外吸收光谱	43
第六节 核磁共振波谱和质谱	43
一、核磁共振波谱 (NMR)	43
二、质谱	44
第七节 热性质	45
一、沸点和蒸气压	45
二、比热容	46
三、烟点、闪点和燃烧点	48
四、热分析	48
第四章 油脂及脂肪酸的化学性质	50
第一节 油脂的水解、酯化及酯交换反应	50
一、水解反应	50
二、酯化反应	53
三、酯交换反应	54
第二节 脂肪酸羧基上的反应	56
一、成盐	56
二、酰氯	56
三、酰胺	57
四、酸酐	57
五、过氧酸	58
六、烷氧化	58

七、羧基还原	59
八、热解	59
第三节 羧基 α -H 反应	60
一、 α -卤代酸	60
二、 α -阴离子的生成	60
三、 α -磺化脂肪酸	62
第四节 脂肪酸碳链上双键的反应	62
一、加成反应	62
二、化学试剂氧化反应	68
三、异构化反应	71
四、聚合	73
第五节 脂肪酸及甘油酯的化学合成	74
一、脂肪酸的工业合成	74
二、脂肪酸的实验室合成	75
三、甘油酯的合成	77
第五章 油脂空气氧化与抗氧化	82
第一节 油脂空气氧化一般过程	82
第二节 油脂空气氧化机理	83
一、自动氧化	83
二、光氧化	87
三、酶促氧化	88
四、二级氧化产物	90
第三节 空气氧化对油脂风味的影响	91
一、油脂氧化分解——挥发物的形成	91
二、油脂氧化聚合	94
第四节 油脂酸败与回味	94
第五节 影响油脂氧化酸败的因素及防止	97
一、影响油脂氧化酸败的因素	97
二、防止油脂氧化方法	99
第六节 油脂氧化程度及油脂稳定性评价	99
一、油脂氧化程度评价	99
二、油脂稳定性评价	102
第七节 抗氧化剂、增效剂与淬灭剂	103

一、抗氧化剂	103
二、油脂的抗氧化剂、增效剂与协同增效作用	108
三、单线态氧 ($^1\text{O}_2$) 淬灭剂	110
第六章 油脂改性	112
第一节 油脂分提	112
一、油脂的分提机理	112
二、分提方法	117
第二节 油脂氢化	120
一、氢化机理	121
二、选择性	124
三、反应级数及反应速率	129
四、异构化	131
五、氢化反应速率及选择性影响因素	132
第三节 催化剂	137
一、催化机理	137
二、油脂氢化催化剂	138
三、催化剂中毒	139
第四节 酯交换	141
一、化学酯交换	141
二、酶促酯交换	154
第七章 油脂中的非甘油三脂肪酸酯成分	158
第一节 简单脂质	158
一、角鲨烯	159
二、蜡酯与脂肪醇	160
三、甾醇、4-甲基甾醇、三萜醇	163
四、色素与脂溶性维生素	171
第二节 复杂脂质	178
一、糖基甘油二酯	178
二、(神经)鞘磷脂	178
三、磷酸甘油酯	179
第八章 油脂的分离与分析	190
第一节 分离方法	190
一、化学分离法	190

二、色谱分离法	192
第二节 油脂的经典分析方法	196
一、样品的准备	197
二、分析方法	197
第三节 脂肪酸的测定	201
一、脂肪酸的甲基化	201
二、脂肪酸的气相色谱测定	202
三、脂肪酸的液相色谱测定	210
第四节 甘油三酯混合物的分离与测定	210
一、气相色谱法	211
二、高效液相色谱法	211
三、薄层色谱分析	214
四、结构分析	215
第五节 其他组分分析	218
一、生育酚和抗氧化剂成分的测定	218
二、磷脂成分的测定	222
三、硫代葡萄糖苷的测定	223
第九章 天然油脂分类及特性	225
第一节 天然油脂的分类	225
第二节 各种油脂的组成与特性	227
一、乳脂	227
二、猪脂	230
三、鱼油	231
四、可可脂	233
五、椰子油	234
六、棕榈仁油	235
七、棕榈油	235
八、橄榄油	237
九、花生油	239
十、米糠油	240
十一、芝麻油	241
十二、棉籽油	243
十三、玉米油	245

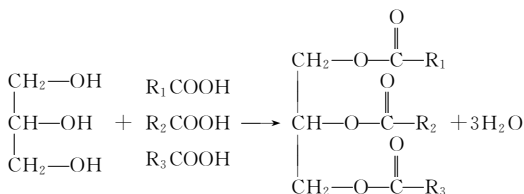
十四、葵花籽油	246
十五、红花油	247
十六、葡萄籽油	248
十七、大豆油	249
十八、菜籽油	250
十九、亚麻油	252
二十、桐油	253
二十一、蓖麻油	253
二十二、微生物油	254
主要参考文献	258

第一章 天然脂肪酸

第一节 天然脂肪酸

一、天然脂肪酸的类型

动植物油脂的主要成分是三脂肪酸甘油酯，简称甘三酯。甘三酯从结构上可认为是由一个甘油分子与三个脂肪酸分子缩合而成。



若三个脂肪酸相同，生成物为同酸甘三酯，否则，生成异酸甘三酯。在甘三酯分子中，甘油基部分 $\left[\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{—} \\ | \\ \text{CH—} \\ | \\ \text{CH}_2\text{—} \end{array} \right]$ 的相对分子质量是

41，其余部分为脂肪酸基团（RCOO—），随油脂的种类不同，脂肪酸基变化很大，总相对分子质量约为 650~970。由于脂肪酸量在甘三酯分子中所占的比重很大（脂肪酸占整个甘三酯分子量的 95% 左右），因此它们对甘三酯的物理和化学性质的影响起主导作用。所以，要认识油脂，必须首先了解脂肪酸的结构。

脂肪酸最初是由油脂水解而得到的，因具有酸性而得名。根据 IUPAC-IUB（国际理论和应用化学-国际生物化学联合会）1976 年修改公布的命名法，脂肪酸定义为天然油脂加水分解生成的脂肪族羧酸化合物的总称，属于脂肪族的一元羧酸（只有一个羧基和一个烃基）。天然油脂中含有脂肪酸 800 种以上，已经得到鉴别的就有 500 种之多。

天然油脂中所含的脂肪酸（无论饱和或不饱和）绝大部分为偶碳直链的，极少数为奇数碳链和具有支链的酸；不饱和脂肪酸根据所含双键的多少，分为一烯酸、二烯酸、三烯酸和三烯以上的酸。天然存在的不饱和脂肪酸除少数为反式结构外，大部分是顺式结构；多烯酸的双键一般为五碳双烯结构（1,4-不饱和系统）形式存在，但亦有少量共轭酸存在，其结构形式如下： $\text{—CH}_2\text{—CH=}^4\text{CH—CH}_2\text{—CH=}^1\text{CH—CH}_2\text{—}$ （1,4-不饱和系统）；天然脂肪酸的碳链长度范围虽广（ $\text{C}_2 \sim \text{C}_{30}$ ），但天然油脂中常见的只有 C_{12} 、 C_{14} 、 C_{16} 、 C_{18} 、 C_{20} 和 C_{22} 几种，其他的脂肪酸含量很少。

总之，碳链长度、饱和程度以及顺反结构有差异的脂肪酸，其物理和化学性质也不相同，组成的三脂肪酸甘油酯的性质也显然不同。因此，油脂的性质和用途很大程度上是由脂肪酸所决定的。

二、脂肪酸的命名

饱和脂肪酸常用 IUPAC 命名法命名，以含同一数量碳原子的烃而定名。如 $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$ 的相应烃基为正十二烷，故称为正十二烷酸，有时“正”字可以省略，称为十二烷酸。十碳以下的饱和脂肪酸一般用天干命名法表示，如四碳酸 $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$ 称为丁酸。另外也可以用速记写法表示饱和脂肪酸，原则是在碳原子数后面加冒号，冒号后面再写一个 0（表示无双键）。例如十四烷酸速记写法为 $\text{C}_{14:0}$ 或 14:0。

不饱和脂肪酸含有双键，其命名比较复杂。命名时需写出双键的数目、位置及几何构型。一种命名方法为系统命名法，是将羧基上的碳原子编号为 1，然后依次编排至碳链末端，反式酸 *trans* 以 *t* 表示，顺式酸 *cis* 以 *c* 表示。如 $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$ 称为反-9-十八碳一烯酸，简写为 9*t*-18:1；再如多不饱和脂肪酸 $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$ 称为顺-9-顺-12-十八碳二烯酸，简写为 9*c*, 12*c*-18:2。另外，不饱和脂肪酸也常用能表明脂肪酸位置的 *n*、 ω 速记法表示，是以离

甲基端最近双键的第一个碳原子位置表示双键的位置，如 $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}^c=\text{CHCH}_2\text{CH}^c=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$ 可表示为 18:2 (n-6) 或 18:2 ω 6; $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}^c=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$ 则表示为 18:1(n-9) 或 18:1 ω 9。应注意的是以 n 、 ω 速记法表示的不饱和脂肪酸需具备以下条件：①双键为顺式；②双键的排列均为五碳双烯型 ($-\text{CH}^c=\text{CHCH}_2\text{CH}^c=\text{CH}-$)；③直链的不饱和脂肪酸。由于脂肪酸的生理活性和合成过程与分子中双键距离末端甲基碳原子的远近有关，因此 n 、 ω 速记法是生物化学领域中常用的表示方法。

对于其他类型的不饱和脂肪酸一般采用系统命名法命名。例如： $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{CH}^c=\text{CH}(\text{CH}_2)_3\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{COOH}$ 称为 8c-十六碳一烯-3-炔酸等。

第二节 饱和脂肪酸与不饱和脂肪酸

一、饱和脂肪酸

天然油脂中饱和脂肪酸从 $\text{C}_2 \sim \text{C}_{30}$ 都有存在（见表 1-1）， $\text{C}_{10:0}$ （癸酸）以下的只存在于少数油脂中， $\text{C}_{2:0}$ （乙酸）仅存在于含有羟基酸的油脂中， $\text{C}_{24:0}$ （木焦油酸）以上的则存在于蜡中。

软脂酸 ($\text{C}_{16:0}$) 和硬脂酸 ($\text{C}_{18:0}$) 是已知分布最广的两种饱和脂肪酸，存在于所有的动植物油脂中。其中软脂酸是猪、牛脂 (25%~30%)、棕榈油 (30%~50%)、可可脂 (25%~30%) 的主要成分，而乌柏油中软脂酸的含量高达 60% 以上；硬脂酸主要存在于动物脂中，如猪、牛脂 (12%~20%)、羊脂 (35% 左右)，可可脂中硬脂酸的含量高达 35% 左右。

大多数植物油脂中豆蔻酸 ($\text{C}_{14:0}$) 的含量少于 5%，但在肉豆蔻种子油中其含量达到 70% 以上；月桂酸 ($\text{C}_{12:0}$) 主要存在于椰子油、棕榈仁油中，含量达 40%~50%，其他油中月桂酸的含量较少。

表 1-1 饱和脂肪酸

系统命名	俗 名	速记表示	分子式	相对分子质量	熔点 /℃	来 源
正丁酸 butanoic	酪酸 butyric	C _{4,0}	C ₄ H ₈ O ₂	88.10	-7.9	乳脂
正己酸 hexanoic	低羊脂酸 caproic	C _{6,0}	C ₆ H ₁₂ O ₂	116.15	-3.4	乳脂
正辛酸 octanoic	亚羊脂酸 caprylic	C _{8,0}	C ₈ H ₁₆ O ₂	144.21	16.7	乳脂、椰子油
正癸酸 decaoic	羊脂酸 capric	C _{10,0}	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	172.26	31.6	乳脂、椰子油
十二烷酸 dodecanoic	月桂酸 lauric	C _{12,0}	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	200.31	44.2	椰子油、棕榈仁油
十四烷酸 tetradecanoic	豆蔻酸 myristic	C _{14,0}	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	228.36	53.9	肉豆蔻种子油
十六烷酸 hexadecanoic	棕榈酸 palmitic	C _{16,0}	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	256.42	63.1	所有动植物油
十八烷酸 octadecanoic	硬脂酸 stearic	C _{18,0}	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	284.47	69.6	所有动植物油
二十烷酸 eicosanoic	花生酸 arachidic	C _{20,0}	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	312.52	75.3	花生油中含少量
二十二烷酸 docosanoic	山萘酸 behenic	C _{22,0}	C ₂₂ H ₄₄ O ₂	340.57	79.9	花生、菜籽油中含少量
二十四烷酸 tetracosanoic	木焦油酸 lignoceric	C _{24,0}	C ₂₄ H ₄₈ O ₂	368.62	84.2	花生与豆科种子油含少量
二十六烷酸 hexacosanoic	蜡酸 cerotic	C _{26,0}	C ₂₆ H ₅₂ O ₂	396.68	87.7	巴西棕榈蜡、蜂蜡
二十八烷酸 octacosanoic	褐煤酸 montanic	C _{28,0}	C ₂₈ H ₅₆ O ₂	424.73	90.0	褐煤蜡、蜂蜡
三十烷酸 triaconoic	蜂花酸 melissic	C _{30,0}	C ₃₀ H ₆₀ O ₂	452.78	93.6	巴西棕榈蜡、蜂蜡

少数油脂中所含的微量中碳链脂肪酸（C_{6,0}～C_{10,0}）对人体有特殊的生理代谢作用；二十碳以上的长链饱和脂肪酸（如 C_{22,0}、C_{24,0}）在天然油脂中仅有少量存在。某脂肪酸在某种油脂中含量超过 10% 时，即称该脂肪酸为主要脂肪酸；小于 10% 者为次要脂肪酸。

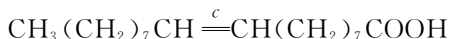
天然油脂中奇碳酸含量很少，20 世纪 50 年代以前在油脂中发现的奇碳酸只有戊烷酸和十七烷酸，近几十年来，由于分析手段的

加强，从 $C_{9:0} \sim C_{19:0}$ 奇碳的饱和脂肪酸在部分油脂中已有发现，如反刍动物的脂肪和鱼油等含量较高；植物油中也有部分奇碳饱和脂肪酸，如棉籽油中含十五烷酸。

二、不饱和脂肪酸

1. 一烯酸

一烯酸也称单不饱和脂肪酸，与相应的饱和脂肪酸相比少两个氢原子，其通式为 $C_n H_{2n-1} O_2$ 。天然油脂中普遍存在一烯酸，已经发现一烯酸有 100 多种，但常见的却不多（见表 1-2）。在这些一烯酸中，油酸几乎存在于所有的动植物油脂中，其结构式如下。



系统命名为顺-9-十八一烯酸 ($9c-18:1$)，或者按 n, ω 速记法记成 $18:1 (n-9)$ 或 $18:1 \omega 9$ 。

在所有脂肪酸中油酸分布最广，它是大多数植物油的主要脂肪酸。例如橄榄油、茶油中的油酸含量高达 80% 以上，棕榈油、花生油、玉米油、芝麻油、葵花油等也含有相当多的油酸，动物脂如猪、牛、羊脂也高达 40% 左右。仅在高度饱和的月桂酸型油类（如椰子油）和主要以同酸甘油酯组成的少数油类（如蓖麻油、桐油）中，油酸是一种次要脂肪酸。

天然油脂中常见的其他种类的十八碳一烯酸为 $6c-18:1$ （俗名岩芹酸）、 $9t-18:1$ （反油酸）和 $11t-18:1$ 。其中 $6c-18:1$ 主要存在于香芹籽油等伞形科植物的种子油中；而 $9t-18:1$ 和 $11t-18:1$ 在反刍动物脂中有微量存在（0.05%~0.20%），在乳脂中有 0.5%~0.7%，植物油脂中不存在。

天然油脂中还存在着一种重要的一烯酸，其系统命名为顺-13-二十二碳一烯酸 ($22:1 \omega 9$)，俗名为芥酸，是十字花科植物种子油中的主要脂肪酸，含量为 40%~50%。在旱金莲科植物种子油中芥酸含量高达 80%。

其他一些一烯酸如 $9c-16:1$ 、 $9c-20:1$ 、 $5c-20:1$ 、 $11c-22:1$ 、 $15c-24:1$ 等在一些鱼油中有存在，而奇碳一烯酸在鱼油和细菌油脂中有较高的含量。

表 1-2 常见的一烯酸

系 统 命 名	俗 名	速记表示法	分子式	熔点/°C	主 要 来 源
顺-4-十碳烯酸 <i>cis</i> -4-decenoic	4c-十碳酸 obtusilic	4c-10:1	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	—	<i>lindera obtusiloba</i> 油脂
顺-9-十碳烯酸 <i>cis</i> -9-decenoic	癸烯酸	9c-10:1	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	—	动物乳脂
顺-4-十二碳烯酸 <i>cis</i> -9-dodecenoic	林德酸 linderic	4c-12:1	C ₁₂ H ₂₂ O ₂	1.3	<i>lindera obtusiloba</i> 油脂
顺-9-十二碳烯酸 <i>cis</i> -9-dodecenoic	月桂烯酸	9c-12:1	C ₁₂ H ₂₂ O ₂	—	动物油脂
顺-4-十四碳烯酸 <i>cis</i> -4-tetradecemoic	粗粗酸 tsuzuic	4c-14:1	C ₁₄ H ₂₆ O ₂	18.5	<i>litsea glauca</i> 油脂
顺-5-十四碳烯酸 <i>cis</i> -5-tetradecemoic	抹香鲸酸 physeteric	5c-14:1	C ₁₄ H ₂₆ O ₂	—	抹香鲸油(%)
顺-9-十四碳烯酸 <i>cis</i> -9-tetradecemoic	肉豆蔻烯酸 myristoleic	9c-14:1	C ₁₄ H ₂₆ O ₂	—	动物乳脂, 抹香鲸 油脂 <i>pyncanthus kombo</i> (23%)
顺-9-十六碳烯酸 <i>cis</i> -9-hexadecenoic	棕榈油酸 palmtoleic	9c-16:1	C ₁₆ H ₃₀ O ₂	—	动物乳脂, 海洋动物 油(60%~70%), 种子 油, 美洲水貂和牛脂
9-十七碳烯酸 9-heptadecenoic	—	9-17:1	C ₁₇ H ₃₂ O ₂	—	牛脂, 加拿大麝香 牛脂
顺-6-十八碳烯酸 <i>cis</i> -6-octadecenoic	岩芹酸 petroselinic	6c-18:1	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	30	伞形科植物, 特别是 香芹籽油(75%)
顺-9-十八碳烯酸 <i>cis</i> -9-octadecenoic	油酸 oleic	9c-18:1	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	14, 16	橄榄油, 山核桃油, 各种动植物油脂
反-9-十八碳烯酸 <i>trans</i> -9-octadecenoic	反油酸 elaidic acid	9t-18:1	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	44	牛脂, 多种动物脂
反-11-十八碳烯酸 <i>trans</i> -11-octadecenoic	11t-十八碳烯酸 vaccenic	11t-18:1	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	44	奶油, 牛油
顺-5-二十碳烯酸 <i>cis</i> -5-eicosenoic	—	5c-20:1	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	—	<i>limnathes</i> 属
顺-9-二十碳烯酸 <i>cis</i> -9-eicosenoic	9c-二十碳烯酸 gadoleic	9c-20:1	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	—	海洋动物油脂
顺-11-二十碳烯酸 <i>cis</i> -11-eicosenoic		11c-20:1	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	—	霍霍巴蜡
顺-11-二十二碳烯酸 <i>cis</i> -11-eicosenoic	鲸蜡烯酸 cetoleic	11c-22:1	C ₂₂ H ₄₂ O ₂	—	海洋动物油脂

系 统 命 名	俗 名	速记表示法	分子式	熔点/℃	主 要 来 源
顺-13-二十二碳烯酸 <i>cis</i> -13-eicosenoic	芥酸 erucic	13 <i>c</i> -22:1	$C_{22}H_{42}O_2$	33.5	十字花科种子菜籽、芥籽油(40%~60%)
顺-15-二十四碳烯酸 <i>cis</i> -15-eicosenoic	鲨油酸 selacholeic	15 <i>c</i> -24:1	$C_{24}H_{46}O_2$	—	海洋动物油脂
顺-17-二十六碳烯酸 <i>cis</i> -17-eicosenoic	山梅酸 ximenic	17 <i>c</i> -26:1	$C_{26}H_{50}O_2$	—	xinenia americama 油脂
顺-21-三十碳烯酸 <i>cis</i> -21-eicosenoic	三十碳烯酸 lumegueic	21 <i>c</i> -30:1	$C_{30}H_{58}O_2$	—	xinenia americama 油脂

2. 二烯酸

二烯酸又称作二不饱和脂肪酸，与相应的饱和脂肪酸相比少四个碳原子，通式为 $C_nH_{2n-4}O_2$ ，天然油脂中存在的二烯酸种类不多，见表 1-3。其中最常见的是亚油酸，结构式如下。

表 1-3 常见的二烯酸

系 统 命 名	速记表示	分子式	熔点/℃	主 要 来 源
2,4-己烯酸 2,4-hexadienoic	2,4-6:2	$C_6H_8O_2$	134.5	山梨籽油
反-2,顺-4-癸二烯酸 <i>trans</i> -2, <i>cis</i> -4-decadienoic	2 <i>t</i> ,4 <i>c</i> -10:2	$C_{10}H_{16}O_2$		大戟科乌桕籽仁油
顺-2,顺-4-十二碳二烯酸 <i>cis</i> -2, <i>cis</i> -4-dodecadienoic	2 <i>c</i> ,4 <i>c</i> -12:2	$C_{12}H_{20}O_2$		乌桕籽仁油
反-3,顺-9-十八碳二烯酸 <i>trans</i> -3, <i>cis</i> -9-octadecadienoic	3 <i>t</i> ,9 <i>c</i> -18:2	$C_{18}H_{32}O_2$		菊科种籽油
反-5,顺-9-十八碳二烯酸 <i>trans</i> -5, <i>cis</i> -9-octadecadienoic	5 <i>t</i> ,9 <i>c</i> -18:2	$C_{18}H_{32}O_2$		ramuncalaceae 科种子油
顺-5,顺-11-十八碳二烯酸 <i>cis</i> -5, <i>cis</i> -11-octadecadienoic	5 <i>c</i> ,11 <i>c</i> -18:2	$C_{18}H_{32}O_2$		ginkgoaceae 坚果油
顺-9,反-12-十八碳二烯酸 <i>cis</i> -9, <i>trans</i> -12-octadecadienoic	9 <i>c</i> ,12 <i>t</i> -18:2	$C_{18}H_{32}O_2$		菊科种子油
顺-9,顺-12-十八碳二烯酸 <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12-octadecadienoic	9 <i>c</i> ,12 <i>c</i> -18:2 18:2(<i>n</i> -6)	$C_{18}H_{32}O_2$	-5	存在于多种植物油如豆油、红花油、核桃油、葵花油中
顺-11,顺-14-二十碳二烯酸 <i>cis</i> -11, <i>cis</i> -14-eicosadienoic	11 <i>c</i> ,14 <i>c</i> -20:2 20:2(<i>n</i> -6)	$C_{20}H_{36}O_2$		ephedraceae 种子油
顺-5,顺-13-二十二碳二烯酸 <i>cis</i> -5, <i>cis</i> -13-docosadienoic	5 <i>c</i> ,13 <i>c</i> -22:2	$C_{22}H_{40}O_2$		limnanthaceac 种子油



系统命名为顺-9, 顺-12-十八碳二烯酸 (9_c, 12_c-18:2), 或者按 n 、 ω 速记法记成 18:2 ($n-6$) 或 18:2 ω_6 。

亚油酸及后面要提到的 α -亚麻酸 (18:3 ω_3) 是维持生命的重要物质, 它们是合成花生四烯酸的前体, 花生四烯酸又是合成前列腺素的前体之一, 而人体本身不能合成亚油酸及 α -亚麻酸, 必须通过摄取食物得到, 因此亚油酸及 α -亚麻酸是人体必需脂肪酸, 并被命名为维生素 F。

亚油酸普遍存在于液体植物油中, 半干性和干性油中含量较多, 一般植物油中含量为 40% 左右, 也有的高达 70% ~ 85%, 如红花籽油。葵花籽油、棉籽油、大豆油、玉米油、芝麻油中含量约为 40% ~ 50%。动物脂以及含油酸较多的植物油 (如橄榄油、茶油、棕榈油等) 中亚油酸的含量仅为 10% 左右。

另外, 在油菜种子油中存在 2% 左右的顺-13, 顺-16-二十二碳二烯酸, 在我国乌桕籽仁油中存在 5% ~ 10% 的 2,4-十碳二烯酸及 2,4-十二碳二烯酸; 在 *chilopsislinearis sweet* 种子油中有 9% 的反-9, 反-12-十八碳二烯酸, 在羊膜油中含有双键 (两个或多个亚甲基相隔) 的十八碳二烯酸。

3. 多烯酸

具有三个或三个以上双键的脂肪酸称为多烯酸。天然油脂中含有的多烯酸一般有 3 ~ 6 个双键, 个别油脂中高达 7 个。植物油中的多烯酸以三烯酸为主, 陆地动物油脂中多烯酸较少, 三烯酸也不多见。海洋鱼油中三烯酸含量很少, 以四烯酸、五烯酸、六烯酸为主。

(1) 三烯酸

三烯酸与相应的饱和脂肪酸相比少六个碳原子, 通式为 $\text{C}_n\text{H}_{2n-6}\text{O}_2$, 有共轭和非共轭之分。天然油脂中的三烯酸以非共轭型为主, 少数油脂中存在共轭三烯酸。常见的三烯酸见表 1-4。